

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MOBILNÍ APLIKACE PRO ANALÝZU ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ NGA SÍTĚ

MOBILE APPLICATION FOR THE ANALYSIS OF THE BASIC PARAMETERS OF NGA NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleš Musil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Grenar

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Aleš Musil

ID: 174230

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Mobilní aplikace pro analýzu základních parametrů NGA sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Hlavním cílem teoretické části bakalářské práce je obsahová analýza legislativního rámce, celkového přehledu odborné literatury a elektronických zdrojů související se zkoumanou problematikou, tj. provoz TCP/IP v mobilních sítích. Hlavní důraz v rámci realizovaného kvalitativního šetření je soustředěn na sledování kvality mobilní komunikace s orientací na primární parametry, jež ovlivňují provozované datové a multimediální přenosy. Následně bude přistoupeno k řešení praktické části bakalářské práce, jejímž primárním cílem je vytvoření mobilní aplikace pro mobilní platformu Android, jež bude schopna vyhodnocovat sledované parametry. Na základě praktické části bude navržena optimální metoda měření požadovaných parametrů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HUNT, Craig. TCP/IP network administration. Beijing: O'Reilly & Associates, 2002. ISBN 0-596-00297-1.

[2] DOVROLIS, Constantinos. Passive and active network measurement: 6th International Workshop, PAM 2005, Boston, MA, USA, March 31-April 1, 2005 : proceedings. New York: Springer, c2005. ISBN 3540255206.

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. David Grenar

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření kvality služeb v rámci mobilních sítí. V práci jsou rozebrány jednotlivé standardy mobilních sítí, kvalita služeb, jak ji dosáhnout a měřicí metoda. Poté práce obsahuje popis serverového programu pro měření parametrů ovlivňující multimediální přenos dat. Dále je v práci rozebrána samotná aplikace pro mobilní platformu Android, která dané parametry vyhodnocuje. Nakonec jsou rozebrané naměřené zkušební vzorky.

KLÍČOVÁ SLOVA

QoS, Android, Mobilní aplikace, Serverová aplikace, Měření QoS

ABSTRACT

Bachelor thesis focuses on measurement of quality of service within mobile networks. The thesis explains standards of mobile networks, quality of service, how achieve specified quality and measurement method. Then thesis explains server program for measuring multimedia data and mobile application for operating system Android, which can evaluate and show measured data. In the end there is shown measurement of testing data.

KEYWORDS

QoS, Android, Mobile application, Server application, QoS Measurement

MUSIL, A. *Mobilní aplikace pro analýzu základních parametrů NGA sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Grenar.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Mobilní aplikace pro analýzu základních parametru NGA sítě jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Úvod	1
1 Mobilní sítě	2
1.1 Standardy mobilních sítí	2
1.1.1 První generace.....	2
1.1.2 Druhá generace	3
1.1.3 Vylepšení druhé generace	5
1.1.4 Třetí generace	5
1.1.5 Čtvrtá generace	8
1.1.6 Pátá generace	12
2 Kvalita Služeb	13
2.1 Úvod.....	13
2.1.1 Integrated Services.....	13
2.1.2 Differentiated Services	13
2.2 Parametry QoS	14
2.2.1 Propustnost.....	14
2.2.2 Zpoždění a jitter	15
2.2.3 Ztrátovost paketů (packet loss)	15
3 Meřicí metoda	16
3.1 RFC 3432.....	16
3.1.1 Metodologie	16
3.1.2 Chyby a nepřesnosti.....	17
4 Serverový program	18

4.1	Úvod.....	18
4.2	Struktura programu	18
4.3	Možné vylepšení programu	18
5	Uživatelský program	19
5.1	Úvod.....	19
5.2	Struktura uživatelského rozhraní	19
5.3	Návrhový vzor	22
5.4	Logika aplikace.....	23
5.4.1	Balíčky	23
5.4.2	Tvorba paketů	24
5.4.3	Síťová komunikace	24
5.4.4	Ukládání a zpracování výsledků	24
5.4.5	Export do souboru.....	25
5.4.6	Možné vylepšení aplikace.....	25
6	Naměřené hodnoty	27
6.1	Úvod.....	27
6.2	Vyhodnocení	27
	Závěr	30
	Literatura	31
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	32
	Seznam příloh	35
A	Grafy naměřených hodnot	36
B	Obsah přiloženého CD	38

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Architektura GSM sítě [1].	4
Obr. 1.2: Architektura LTE sítě [5].	11
Obr. 5.1: Uživatelské rozhraní	20
Obr. 5.2: Zobrazení výsledků	21
Obr. 5.3: Návrhové vzory	22
Obr. 6.1: Naměřené hodnoty zpoždění pro 2G	28
Obr. 6.2: Naměřené hodnoty zpoždění pro 3G a 4G	29
Obr. A.1: Naměřené hodnoty jitteru pro 2G	36
Obr. A.2: Naměřené hodnoty jitteru pro 3G	37
Obr. A.3: Naměřené hodnoty jitteru pro 4G	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Přehled parametrů AMPS a NMT [1].	2
Tab. 1.2: Přehled tříd služeb a jejich požadavků na QoS [2].....	7
Tab. 1.3: Standardizované QCI charakteristiky [5]	10

ÚVOD

Cílem této práce je seznámit s problematikou týkající se provozu v mobilních sítích a jejich měření. Především parametrů, které ovlivňují přenos multimediálních dat v těchto sítích.

Mobilní sítě zaznamenali během posledních let obrovský rozvoj a stále více služeb se přesouvá do této oblasti. Dříve bylo hlavním úkolem mobilních sítí zajistit hlasové spojení mezi dvěma účastníky. Postupem času se objevila možnost nejen hlasového spojení, ale i textového, pomocí textových zpráv. S rozvojem technologie došlo k možnosti využít mobilní sítě za pomoci spojování rámců namísto spojování okruhů. První technologie, která umožnila tento krok, byla GPRS (General Packet Radio System). Tento systém má jednu nevýhodu, a to velmi malé přenosové rychlosti velmi závislé na zatížení sítě a síle signálu. K vylepšení těchto nedostatků došlo s příchodem technologie EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), která umožnila vyšší přenosové rychlosti, a tedy i možnost přenosu multimediálních dat pomocí mobilní sítě. Dalším nástupcem těchto sítí byla síť třetí generace, která využívá technologii UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) a umožňuje vyšší přenosové rychlosti, se kterými souvisí větší možnost přenosu multimediálních dat za pomoci mobilních sítí. V dnešní době je již běžně dostupná síť čtvrté generace, využívající technologii LTE (Long Term Evolution). V některých oblastech se můžeme setkat stále s předchůdcem, který využívá síť třetí generace, ale nahrazuje UMTS, a to HSPA (High Speed Packet Access) a HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access).

Práce je rozdělena do šesti hlavních částí. První část, s názvem Mobilní sítě, obsahuje informace, které se týkají mobilních sítí, jejich základních parametrů a standardů s hlavním zaměřením na přenos dat. Druhá část, s názvem Kvalita služeb, se zaměřuje na obecné informace o kvalitě služeb v internetových sítích a jejich hlavních parametrech. Třetí část, s názvem Měřicí metoda, se zabývá především způsobem, jakým lze měřit parametry kvality služeb. Čtvrtá část, která se nazývá Serverový program, obsahuje popis serverové části programu pro měření parametrů mobilních sítí. Pátá část s názvem Uživatelský program obsahuje popis mobilní aplikace. Šestá a zároveň poslední část, s názvem Naměřené hodnoty, obsahuje zhodnocení naměřených testovacích výsledků pomocí vytvořené aplikace.

V rámci práce je kladen důraz především na multimediální datové přenosy, které potřebují velmi přísné dodržení různých parametrů pro kvalitní přenos. Dále jsou multimediální přenosy čím dál více využívány právě v rámci mobilních sítí. Jedná se hlavně hlasové a obrazové služby v reálném čase.

1 MOBILNÍ SÍTĚ

1.1 Standardy mobilních sítí

1.1.1 První generace

První generace mobilních sítí využívala analogového přenosu a byla představena v 80. letech 20. století. Světově první systém je AMPS (Advanced Mobile Phone System), který byl do nedávna stále hojně používán především v Americe. První systém zavedený v Evropě byl NMT (Nordic Mobile Telephone). Jednalo se o systém, který byl sjednocen ve více než jedné zemi a umožnil komunikaci napříč celou severní Evropou. Dalším mobilním systémem, který spadá pod první generaci, je TACS (Total Access Communication System). Jedná se o upravenou verzi AMPS a byl používán v některých státech Evropy a Asie. Přehled parametrů AMPS a NMT se nachází v tabulce 1.1 [1].

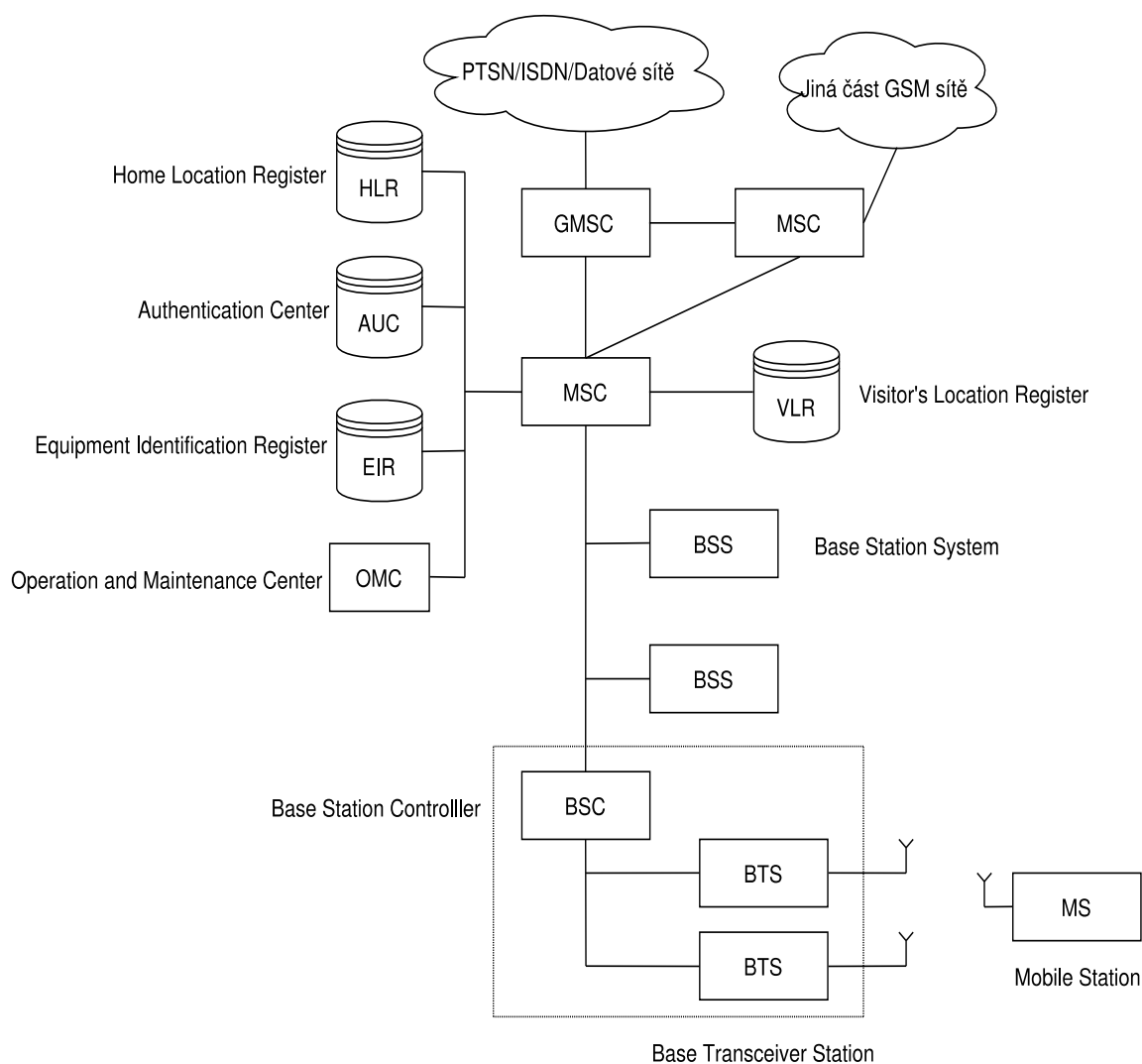
Parametry systému	AMPS	NMT 450	NMT 900
Přenosová frekvence [MHz]			
- Základnová stanice	869-894	463-467,5	935-960
- Mobilní stanice	824-849	453-457,5	890-915
Frekvenční rozdíl mezi přijímačem a vysílačem [MHz]	45	10	45
Prostor mezi kanály [kHz]	30	25	25
Počet kanálů	832	180	1000
Dosah základnové stanice [km]	2-25	1,8-40	2-20
Modulace audio signálu	FM	FM	FM
Frekvenční odchylka [kHz]	±12	±5	±5
Kontrolní signál			
- Modulace	FSK	MSK	MSK
- Frekvenční odchylka [kHz]	±8	±3,5	±3,5
Přenosová rychlost kontrolního signálu [kbit/s]	10	1,2	1,2
Výstupní výkon vysílače [W]			
- Maximální pro základnovou stanici	100	50	25
- Střední pro mobilní stanici	3	1,5	1

Tab. 1.1: Přehled parametrů AMPS a NMT [1].

1.1.2 Druhá generace

V 80. letech 20. století bylo k dispozici několik vzájemně nekompatibilních analogových sítí. Důsledkem této situace bylo, že pokud někdo vycestoval mimo dosah své sítě, nemohl již nadále využívat hovorové služby. Proto ve spolupráci s Evropskou unií byla stanovena speciální skupina GSM (Groupe Special Mobile nyní Global System for Mobile Communication), aby pracovala na specifikaci a standardech mobilních sítí. Výsledkem této spolupráce je několik standardů, které definují síť druhé generace a pokrývají všechny potřebné vrstvy modelu OSI (Open System Interconnection).

Architektura GSM sítě je rozdělena do podsítí za pomoci mobilních telefonních ústředen MSC (Mobile Switching Center). Každé MSC je propojeno s návštěvnickým registrem VLR (Visitors Location Register), který obsahuje nezbytné informace vztahující se k mobilním zařízením v daném regionu spravovaném daným MSC. Kromě VLR mají GSM síť, které jsou spravovány některým z operátorů, další 3 databáze. Prvním z nich je domovský registr HLR (Home Location Register) je to seznam permanentně připojených mobilních stanic spravovaných operátorem. Druhá databáze je autentizační středisko AUC (Authentication Center), která umožňuje provádět kontrolu zda uživatel s přiřazeným identifikačním modulem SIM (Subscriber Identity Module) je oprávněn provést hovor a třetí je identifikační registr EIR (Equipment Identification Register) obsahující databázi sériových čísel mobilních stanic. Mobilní stanice, které byly zcizeny je možno umístit na černou listinu a zamezit jim v hovoru. Ústředny MSC jsou vzájemně propojena a jedno nebo více MSC, nesoucí označení GMSC (Gateway Mobile Switching Center) slouží jako brána k vnějším sítím. Každá ústředna MSC má na starost alespoň jeden systém základnových stanic BSS (Base Station System) a několik základnových stanic BTS (Base Transceiver Station). Základnové stanice BTS se starají o základní přenos a příjem signálu, jednoduché kontrolní funkce, kódování, dekódování řeči a přizpůsobení přenosové rychlosti. Hlavním úkolem ústředny MSC je sestavení hovoru mezi dvěma účastníky. Na obrázku 1.1 je zobrazena architektura GSM sítě.



Obr. 1.1: Architektura GSM sítě [1].

Datové přenosy v GSM sítích lze rozdělit na dvě základní třídy: telekomunikační služby a přenosové služby. Telekomunikační služby nepotřebují žádné externí zařízení ke svému provozu. Příkladem je přenos hlasu nebo krátkých zpráv SMS (Short Messages Service). Přenosové služby potřebují na obou stranách speciální zařízení. GSM systém přenáší pouze data bez ohledu na službu, která je provozována. Přenos v GSM systému může probíhat ve formě UDI (Unrestricted Digital Information) nebo v podobě modemových akustických signálů. Mohou být použity jak synchronní, tak asynchronní

způsoby komunikace. Dále je možné použití transparentní komunikace, která nepoužívá žádné opravné metody automatického přeposlání poškozeného či ztraceného rámce nebo paketu. Naopak při použití netransparentního přenosu je využita ochrana před chybami. Za pomoci těchto metod mohl datový přenos dosahovat rychlostí od 300 bit/s po rychlosti 9,6 kbit/s [1].

1.1.3 Vylepšení druhé generace

GPRS bylo vyvinuto z důvodu nedostačujících přenosových rychlostí ve stávajících GSM sítích. Přepojování okruhů použité v GSM bylo nevyhovující a neefektivní vzhledem k povaze rázového přenosu velkého množství dat. Výsledkem byl přechod na přepojování paketů. GPRS bylo připojeno paralelně ke stávajícím GSM sítím. Novými prvky v těchto sítích jsou podpůrné uzly GGSN (Gateway GPRS Support Node) a SGSN (Serving GPRS Support Node). Kdy uzel GGSN má za úkol najít cestu mezi mobilními stanicemi a externí paketovou sítí a uzel SGSN je odpovědný za příjem a doručení paketů ve svém spravovaném místě. SGSN pracuje podobně jako ústředna MSC v klasickém GSM systému, provádí autentizační funkce mobilních stanic a uchovává informace o všech účastnících ve svém lokálním uložení. GGSN (Gateway GPRS Support Node) slouží jako zařízení mezi GPRS sítí a externí paketovou sítí.

EDGE (Enhanced Data Rate for Global Evolution) přináší některé změny ke stávajícímu systému GPRS a GSM. Umožňuje mnohem vyšší přenosové rychlosti než GPRS. První vylepšení, které EDGE přidává je použití více stavové modulace 8-PSK (Phase-shift keying) pro vyšší přenosové rychlosti. Na nižších přenosových rychlostech je stále používána modulace GMSK (Gaussian minimum-shift keying). Dalším důležitým vylepšením, které EDGE přinesl je kontrola kvality spojení, mobilní stanice informují základnové stanice o kvalitě spojení. Na základě této informace se rozhoduje, jaká kódovací rychlost a modulace bude použita pro následný přenos. EDGE systémy mají dvě modulace (GMSK a 8-PSK) a devět kódovacích rychlostí. Každá kombinace má jinou přenosovou rychlost [1].

1.1.4 Třetí generace

V roce 1998 byla založena společnost 3GPP (3rd Generation Partnership Project), aby se starala a produkovala specifikace UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). V roce 1999 byla vydána první specifikace UMTS, která byla založena na hlavních částech GSM sítě. Rozdíl proti GSM sítím je použití nové přístupové technologie W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) pro bezdrátový přenos dat. Nejvyšší stupeň architektury UMTS je složen z centrální sítě CN (Core Network), která obsahuje dvě domény. První z nich CS (Circuit switched) je doména

přepojování okruhů používaná pro přenos hlasu. Tato doména má napojení na pevné telefony pomocí telefonní sítě PSTN (Public Switched Telephone Networks). Druhá doména, PS (Packet Switched), je doména založená na přepojování paketů. Tyto dvě domény byly převzaty ze stávajícího GSM a GPRS modelu a bylo u nich provedeno pouze několik změn. Nejdůležitější část UMTS sítě je UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), která byla představena při prvním vydání v roce 1999. Tato síť je stále zpětně kompatibilní s GSM sítí.

Vnitřní struktura sítě je téměř identická jako u GSM sítě. Nejdůležitější část, UTRAN, se skládá ze dvou částí základnové stanice Node B a síťového kontroléru RNC (Radio Network Controller). Základnová stanice Node B má na starosti jednu nebo více buněk a také přenos signálu z mobilních stanic, které jsou k těmto buňkám připojeny. Kontrolér RNC je prostředník mezi základnovou stanicí Node B a vnitřní sítí, má tři hlavní názvy v závislosti na tom, kterou z funkcí zastává. První z nich CRNC (Controlling RNC) má na starosti kontrolu Node B, distribuuje provoz směrem do mobilní stanice a sbírá provoz od mobilní stanice v rámci svých Node B. Druhá, s označením SRNC (Serving RNC), slouží jako brána mezi mobilními stanicemi a vnitřní sítí. V některých situacích je možné že SRNC nekontroluje Node B přímo a k tomu slouží třetí kontrolér DRNC (Drift RNC), která se stará o provoz a signalizaci mezi Node B a SRNC.

Dalším vývojovým stupněm sítě třetí generace je HSPA (High Speed Packet Access). Jedná se o kolekci technik, které byly představeny v průběhu vývoje 3G. Představení těchto změn proběhlo ve třech různých technikách a souvisí pouze s přepojováním paketů. HSPA velmi přidává na komplexnosti celé sítě. První změna HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), dále HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) a nakonec HSPA+ (HSPA Evolution). V obou prvních zmíněných je představena nová technika oprav chyb. Jedná se o hybridní systém ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request With Soft Combining), který kombinuje samotnou opravu chyb s přeposíláním chybných paketů. HSDPA kombinuje techniky hybridního systému ARQ, rychlého plánování, adaptivní modulace a kódování ke zvýšení rychlosti přenosu dat směrem do mobilní stanice. Při použití HSDPA obdrží mobilní stanice paket na novém transportním kanálu známém pod zkratkou HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel). HSUPA kombinuje hybridní systém ARQ a rychlé plánování k dosažení větší rychlosti přenosu dat směrem od mobilní stanice. Podobně jako HSDPA i v rámci HSUPA jsou data přenášeny přes nový kanál E-DCH (Enhanced Dedicated Channel). Ve stejnou chvíli může mobilní stanice stále pokračovat v přenosu na kanálech 3G, které se starají o komunikaci probíhající s přepojováním okruhů. Kanál E-DCH používá přenosový interval 10 ms nebo 2 ms což je méně než u původního 3G. To umožňuje zrychlit plánování. Jeden rozdíl mezi HSUPA a HSDPA je v přenosovém intervalu. HSDPA používá vždy pouze 2 ms. Poslední technika, která byla představena v rámci HSPA+, je

technologie vícenásobného přístupu MIMO (Multiple Input Multiple Output). Při použití technologie MIMO se dvěma anténami vysílač rozdělí datový tok na dva a pošle půlku na každou anténu. Přijímač musí podporovat technologii MIMO a použít tzv. Beamforming system. Tento systém složí signál ze dvou přijímacích antén tak, aby spolu interferoval. Za pomoci těchto technik můžeme přijímat dva na sobě nezávislé datové toky. Teoreticky tímto lze získat až dvojnásobnou přenosovou rychlost. Dále v rámci HSPA+ jsou použity jiné modulace. Komunikace směrem od mobilní stanice podporují modulaci 16-QAM (Quadrature amplitude modulation) a komunikace směrem do mobilní stanice podporuje modulaci 64-QAM. Nakonec jsou tu změny ve způsobu, jakým síť operuje s daty. Díky tomu lze dosáhnout menší odezvy a jitteru. Třetí generace UMTS byla navržena s myšlenkou na zajištění dobré kvality pro různé třídy služeb. V tabulce 1.2 jsou zobrazeny třídy a jejich požadavky na kvalitu služeb QoS (Quality of Service).

Třída služby	Chybovost	Zpoždění	Jitter	Příklad
Konverzační	-	Nízké	Nízký	Hlasový hovor
Streamovaná služba	-	-	Nízký	Video stream
Interaktivní	Nízká	Nízké	-	Prohlížení webových stránek
Služby na pozadí	Nízká	-	-	E-mail

Tab. 1.2: Přehled tříd služeb a jejich požadavků na QoS [2].

Základním atributem pro QoS je třída služby. Datové toky jsou těmito třídami rozděleny na čtyři základní skupiny. Dále jsou tu čtyři základní parametry, které jednotlivé třídy požadují. Následuje ještě několik dalších parametrů poskytujících mnohem větší detail daných potřeb [3]. Složitý proces je vyjednávání mezi mobilní stanicí a mobilní sítí jaké QoS parametry použijí. Vyjednávání začíná zprávou z mobilní stanice, která požádá síť o datový tok s určitým QoS. Ústředna MSC nebo uzel SGSN na základě tohoto požadavku zkontroluje, zdali je uživatel oprávněn obdržet toto QoS. Pokud kontrola proběhne v pořádku jsou parametry požadavků předány nižším vrstvám sítě a mobilní stanice je informována o stavu. Síť může nabídnout horší QoS než daný uživatel požadoval a tuto nabídku může mobilní stanice přijmout nebo odmítnout.

Síť UMTS mimo jiné také nabízí pomocné služby. Jedním z příkladů pomocných služeb je lokalizace za pomoci mobilní sítě. Jednou z možností, jak určit polohu je technika OTDOA (Observed Time Difference of Arrival). Tato triangulační technika

využívá měření času, za který signál dorazí z několika Node B. Kontrolér SRNC na základě této informace vypočítá polohu mobilní stanice za předpokladu, že zná polohu všech Node B. Informace je potom předána vnitřní síti a odtud příslušné aplikaci. Další příklad pomocné služby je CAMEL (Customised Applications for Mobile Network Enhanced Logic). CAMEL je rozšíření inteligentních služeb o roaming. Tato služba umožňuje uživateli nadále využívat inteligentních služeb ze své domácí sítě, jako by se nacházel přímo v ní [2].

1.1.5 Čtvrtá generace

S rostoucími nároky na přenos dat se skupina 3GPP v roce 2004 zaměřila na evoluci LTE (Long Term Evolution) v sítích UMTS. Jejich cílem bylo udržet komunikační systémy schopné provozu alespoň po dobu 10 let a více. Jako výsledek je úplně nová architektura sítě. Tato architektura obsahuje paketové jádro EPC (Evolved Packet Core), které plně nahrazuje přepojování paketů ve stávajících GSM a UMTS sítích. Není tu žádné přepojování okruhů a tím je umožněna optimalizace LTE v doručování datového provozu. Avšak hlasové hovory musí být zpracovány jinými metodami. Jednou z těchto metod je Circuit Switched Fallback v tomto případě mobilní stanice přejde zpět do režimu GSM nebo UMTS sítě, která umožňuje hlasové hovory pomocí přepojování okruhů. Druhou možností je pomocí systému IMS (IP Multimedia Subsystem). K systému IMS je potřeba externí síť, která zařídí signalizaci, spojení, udržování a ukončení VoIP (Voice over IP) hovoru. Jako náhrada za UTRAN je v této architektuře použit E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). Architektura sítě je sestavená ze dvou částí. První z nich systém SAE (System Architecture Evolution) definující vnitřní síť. Druhá část, LTE, která pokrývá bezdrátovou síť a mobilní stanice. Oficiálně je tento model známý jako systém EPS (Evolved Packet System). I přestože je LTE pouze označení pro část vylepšení sítě, se tento název vžil jako název celé technologie. Požadavky na LTE byla přenosová rychlost v maximu pro směr dat do mobilní stanice 100 Mb/s a pro směr dat od mobilní stanice 50 Mb/s. V současném systému jsou tyto parametry mnohem lepší pro směr dat do mobilní stanice až 350 Mb/s a směr dat od mobilní stanice až 75 Mb/s.

E-UTRAN má na starosti komunikaci mobilní stanice s paketovým jádrem EPC a obsahuje jediný prvek základnovou stanicí eNB (Evolved Node B). Každá stanice eNB je propojená s jádrem EPC. Základnové stanice eNB však mohou být také propojeny mezi sebou. Většinou propojení mezi stanicemi eNB a jádrem EPC nebo eNB a eNB není fyzické, ale je realizováno pomocí IP sítě. Každé eNB a komponenty EPC mají svoji IP adresu. Architektura jádra EPC je složena z několika klíčových prvků. První je domovský registr HSS (Home Subscriber Server), který obsahuje informace o všech uživateli operátora a jedná se o jeden z mála komponentů, který byl přenesen ze stávajících GSM

a UMTS sítí. Další prvek, brána P-GW (Packet Data Network Gateway), má na starosti komunikaci s vnějšími sítěmi nebo zařízeními. Brána S-GW (Serving Gateway) slouží jako prostředník mezi P-GW a E-UTRAN. Řídicí centrum MME (Mobility Management Entity) kontroluje operace mobilní stanice pomocí zasílání signálních zpráv o problémech jako je bezpečnost a správa datových toků. Při porovnání s UMTS nebo GSM sítí lze vidět, že brána P-GW má stejnou roli jako uzel GGSN. Zatímco brána S-GW spolu s centrem MME mají na starosti podobnou funkci jako uzel SGSN. Rozdělení SGSN na dvě části ulehčuje operátorovi zvýšit kapacitu. S rostoucí zátěží může operátor přidat více bran S-GW a s rostoucím počtem mobilních stanic více center MME. Viz obrázek 1.2. Obr. 1.2: Architektura LTE sítě [5].

Novinkou pro přenos dat, kterou LTE přináší je využití širokopásmové modulace využívající frekvenční dělení kanálu OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Modulace OFDMA umožňuje E-UTRAN komunikovat s více mobilními stanicemi zároveň. OFDMA využívá techniky sub-nosných vln. Šířka pásma každé sub-nosné vlny je malá, ale dohromady zabírají stejnou šířku pásma jako tradiční systém s jednou nosnou vlnou. Jednou z výhod, kterou tato technika přináší je možnost mít více sub-nosných vln blíže u sebe, aniž by se vzájemně ovlivňovali.

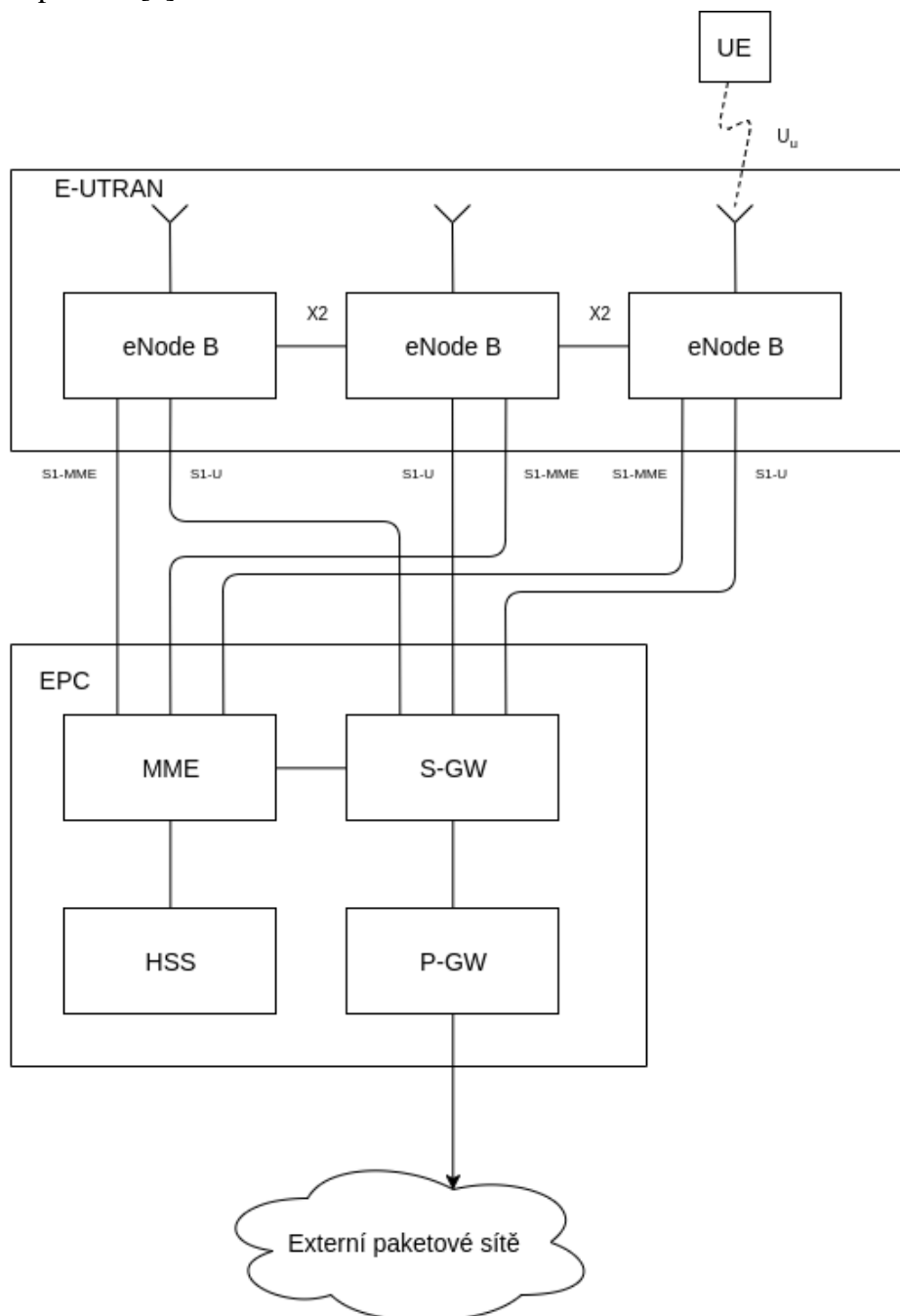
Stejně jako u UMTS je i v LTE zajištěna kvalita služeb QoS pro přenos dat mezi mobilní stanicí a bránou P-GW. Nejdůležitějším parametrem QoS je identifikátor QCI (QoS Class Identifier) [4]. Tohle číslo slouží jako ukazatel v tabulce a definuje čtyři další parametry. Prvním z nich je typ prostředku, který rozděluje nositele do dvou tříd. GBR Bearer je spojen s garantovanou přenosovou rychlostí. Jedná se o minimální přenosovou rychlost, kterou může mobilní stanice očekávat. GBR Bearer je vhodná pro služby v reálném čase jako je přenos hlasu, kde minimální přenosová rychlost může korespondovat s minimální bitovou rychlostí kodeku. Naproti tomu Non-GBR Bearer nemá žádné garance minimální rychlosti a je tedy vhodná pro služby, kterým nevadí dočasný pokles přenosové rychlosti na nulu. Packet Error/Loss Rate udává horní hranici pro podíl paketů ztracených v rámci chybovosti a ztrátovosti způsobené při příjmu a odesílání. Síť by měla spolehlivě aplikovat tento parametr pro GBR Bearer. Packet Delay Budget je horní hranice zpoždění, s 98 % přesností, mezi mobilní stanicí a bránou P-GW. A jako poslední identifikátor QCI Priority Level určuje pořadí, v jakém jsou pakety zpracovávány. Čím nižší číslo tím vyšší priorita. Tabulka 1.3 obsahuje standardizované QCI charakteristiky.

QCI	Typ prostředků	Packet Error/Loss Rate	Packet Delay Budget (ms)	QCI priority	Příklad
1	GBR	10^{-2}	100	2	Hlasový hovor
2	GBR	10^{-3}	150	4	Video v reálném čase
3	GBR	10^{-3}	50	3	Hraní v reálném čase
4	GBR	10^{-6}	300	5	Bufferované video
5	Non-GBR	10^{-6}	100	1	IMS signilizace
6	Non-GBR	10^{-6}	300	6	Web, e-mail, FTP (vysoká priorita)
7	Non-GBR	10^{-3}	100	7	Hlas, video a hry v reálném čase
8	Non-GBR	10^{-6}	300	8	Web, e-mail, FTP (střední priorita)
9	Non-GBR	10^{-6}	300	9	Web, e-mail, FTP (nízká priorita)

Tab. 1.3: Standardizované QCI charakteristiky [5]

Specifikace sítě IMS byli velmi komplexní již od UMTS sítě, a proto po představení LTE vznikla obava, že tato komplexnost by mohla ještě více pozdržet vydání tohoto systému. Tím pádem by bylo těžké představit plně funkční hlasové služby. Tyto obavy vedly v roce 2009 k iniciativě One Voice, která měla vyřešit problémy s komplexností stávajícího systému. Iniciativa získala popularitu a v roce 2010 byla přijata pod názvem VoLTE (Voice over LTE). K síti IMS se uživatel připojí pomocí sítě IP-CAN (IP Connectivity Access Network) což může být LTE, 3G nebo LAN. Nejdůležitější komponenty sítě IMS jsou kontrolní funkce CSCF (Call Session Control Functions). Existují tři typy kontrolních funkcí CSCF. PCSCF (Proxy CSCF) je první kontaktní bod mobilní stanice, který zajišťuje bezpečnost signalizace přes IP síť a integritu. Druhá I-CSCF (Interrogating CSCF) je kontaktní bod pro signalizační zprávy, které přichází z IP sítě. Každý uživatel je registrován k třetímu typu S-CSCF (Serving CSCF), který kontroluje mobilní stanici a umožňuje přístup ke službám jako hlasové hovory. Server AS (Application Server) poskytuje uživateli služby jako multimediální hovory, hlasové zprávy a SMS. Domovský registr HSS (Home Subscriber Server) je centrální databáze obsahující data o IMS uživateli. Síť IMS většinou využívá stejný registr HSS jako 2G/3G síť z důvodu podpory vzájemné spolupráce. Pro signalizaci mezi mobilní stanicí

a síti IMS je použit SIP protokol. Systém EPS ovšem SIP protokolu nerozumí a posílá jej jako klasickou datovou službu pod QCI číslem 5. Dále systém EPS také posílá hlasovou službu přes speciální kanál s QCI 1. Tento kanál je sestaven na začátku hovoru a na konci ukončen. Služba VoLTE počítá s tím, že mobilní stanice podporuje pouze jeden kanál pro přenos hlasu, proto síť skládá několik hlasových přenosů do jednoho kanálu a dává jim stejnou prioritu [5].



Obr. 1.2: Architektura LTE sítě [5].

1.1.6 Pátá generace

Vývoj mobilních sítí nekončí pouze u LTE. Dalším vývojovým stupněm jsou mobilní sítě páté generace. Tento vývojový stupeň by měl přinést několik významných změn technologie současných mobilních sítí. Jedna z významných změn by mohlo být zaměření na mobilní stanice jako na centrální prvek. Historicky byly mobilní sítě závislé na roli jednotlivých buněk. Mobilní stanice byla obsluhována jednou základnovou stanicí, která zajišťovala přenos dat i řídicích údajů, v místě svého výskytu. Nová architektura by měla přinést možnost mobilní stanice komunikovat s několika různorodými uzly.

Další technologickou změnou je použití mikrovlnné komunikace. V současnosti je využíváno pásmo kolem 600 MHz, a to je rozděleno mezi jednotlivé operátory. Z toho důvodu je velmi složité najít prostor pro zvětšení stávajících komunikačních kanálů. Jako řešení se zdá vhodné využít mikrovlnné komunikace a tím umožnit až dvojnásobné rozšíření komunikačních kanálů. V mikrovlnném pásmu se nachází velké množství prostoru od 3 GHz až po 300 GHz.

Technologie vícenásobného vstupu a vícenásobného výstupu, Massive MIMO nebo také MIMO s velkým rozsahem je další změna, kterou lze očekávat v sítích páté generace. Pracuje na stejném principu jako stávající technologie MIMO pouze s tím rozdílem, že je použito mnohem více antén v řádu až několika tisíc. I když je tato technologie velice slibná je stále třeba výzkum v této oblasti.

Jedna z posledních velkých změn je přímá podpora technologie M2M (Machine to Machine). S postupným rozvojem se bezdrátová komunikace stává běžným produktem jako je elektřina nebo voda, důsledkem čehož dochází ke vzestupu nových služeb. Tyto služby mají několik požadavků na síť. Jedním z prvních požadavků na síť je velké množství koncových stanic. Současné systémy operují běžně s několika stovkami zařízení připojených na základnovou stanicí. Ovšem některé M2M služby mohou vyžadovat mnohem více připojených zařízení. Příkladem jsou různé senzory, měřicí zařízení a chytré zařízení. Dalším důležitým požadavkem je velká spolehlivost sítě. Systémy zodpovědné za bezpečnost, kontrolu kritických prvků nebo výroby, jsou převážně připojovány pomocí drátových rozvodů, protože bezdrátové neposkytují dostatečnou spolehlivost. Jeden z posledních požadavků je nízká odezva a schopnost operovat v reálném čase. Je uplatněn, pokud potřebujeme data doručit v určitém časovém intervalu. Za typický příklad lze považovat komunikaci automobilu s určitým zařízením, kde bezpečnost provozu může být zlepšena včas doručenou zprávou [6].

2 KVALITA SLUŽEB

2.1 Úvod

S rozšiřující se popularitou internetové sítě vznikali také nové služby, které bylo možné provozovat. Tyto služby mají různé požadavky na síť. Jedním z problémů dřívějších sítí bylo zajištění výkonu. Přepojování paketů, na kterém je založena dnešní internetová síť, mělo velmi malé možnosti, jak naložit se zdroji. Nemohlo tedy zajistit určitou garanci prostředků. Dalším problémem bylo rozlišování různých druhů provozu. Vzhledem k tomu že internetová síť zacházela se všemi pakety stejně mohla být zajištěna pouze jedna úroveň služeb. Z tohoto důvodu byla představena služba pro rezervaci a řízení datových toků QoS (Quality of Service). Dvě hlavní metody pro zajištění kvality služeb QoS jsou, rezervace zdrojů tzv. IntServ (Integrated Services) a rozdělování paketů do kategorií DiffServ (Differentiated Services) [7].

2.1.1 Integrated Services

Na počátku 90. let 20. století vznikla skupina Integrated Services za účelem standardizace nové architektury na přidělování zdrojů v internetových sítích. IntServ je založena na rezervaci zdrojů. Aplikace, která má zájem o určité zdroje musí nejdřív provést jejich rezervaci a poté teprve může proběhnout samotná komunikace s využitím těchto zdrojů. Rezervace má několik kroků. Jako první musí aplikace charakterizovat provoz a jeho požadavky na síťové zdroje. V dalším kroku je vyhledána cesta a následně je na této cestě nastavena rezervace za pomoci rezervačního protokolu. Pokaždé je kontrolováno, zda jsou dané zdroje k dispozici. Pokud rezervace proběhla úspěšně může daná aplikace začít vysílat svůj provoz po dané cestě. Ke správné funkčnosti bylo zapotřebí, aby IntServ bylo podporováno všemi prvky v dané cestě. Tato metoda byla navržena hlavně pro služby, které potřebují dlouho trvající přenosy, jako jsou například video konference. Naprosto se nehodí pro WWW (World Wide Web) služby, které vyžadují převážně krátké spojení. Jelikož většinu datového provozu tvoří hlavně WWW služby, tak se tato metoda příliš nehodí pro použití v dnešních internetových sítích [7].

2.1.2 Differentiated Services

Jelikož poskytovatelé internetových služeb měli pocit, že IntServ se příliš nehodí pro nasazení ve velkém rozsahu, byla ustanovena nová skupina Differentiated Services. DiffServ je velice odlišný od jeho předchůdce IntServ. Místo rezervace zdrojů je

využíváno pravidel pro priority provozu. Provoz je rozdělen do malého počtu skupin, které jsou následně limitovány. Pakety jsou označovány před vstupem do sítě na základě dohody SLA (Service Level Agreement), která je stanovena mezi uživatelem a jeho poskytovatelem internetového připojení. Třídy provozu jsou vloženy přímo do hlavičky paketů. Na základě třídy vložené v paketu lze s tímto paketem dále zacházet. DiffServ dále odstraňuje potřebu složitých síťových prvků. Pouze hraniční prvek je potřeba k označení paketů. DiffServ je závislý na způsobu, jakým je se zdroji nakládáno v dané síti.

Existují tři typy značkování paketů. Jedním ze způsobů značkování je nezaručená služba BE (Best Effort). Tento způsob se hodí pro nenáročně aplikace, protože je s ním nakládáno jako s obyčejným paketem a může být dle potřeby zahazen nebo pozdržen.

Další způsob je diferencovaná služba AF (Assured Forwarding) tento způsob obsahuje čtyři třídy a v každé třídě je dále rozdělení dle pravděpodobnosti zahazení paketu. Každé třídě je přidělen minimální počet prostředků jako například propustnost. Pravděpodobnost zahazení je určena k výběru paketu, který bude zahazen v případě zahlcení. Pokud pakety z AF překročí určitý limit začne jejich zahazování od paketů s největší pravděpodobností zahazení. Každý prvek podporující DiffServ musí mít nastavitelné parametry pro minimální prostředky v rámci AF a musí být schopen garance těchto prostředků jak v krátkém, tak i dlouhém časovém úseku. Tento způsob se příliš nehodí pro aplikace v reálném čase.

Třetí způsob expediční předání EF (Expedited Forwarding) je používán pro provoz, který potřebuje nízké zpoždění, malou ztrátovost a garantovanou propustnost. Je podobný jako AF, avšak pakety s tímto značením jsou upřednostněny před pakety v jiných frontách. EF lze proto využít pro multimediální služby. Existuje zde jisté omezení v počtu spojení. Pokud by jich bylo příliš mnoho, mohlo by dojít k naprostému zastavení jakékoliv komunikace, která není označena jako EF [7].

2.2 Parametry QoS

Parametry QoS jsou parametry, které jsou měřeny z důvodu charakterizace dané sítě. Propustnost, zpoždění, jitter a ztrátovost jsou ty nejběžněji měřené. Různé služby mají různé požadavky na tyto parametry [7].

2.2.1 Propustnost

Propustnost je používána k popsání určitého média, protokolu nebo připojení. Popisuje velikost datového toku potřebného pro službu přenášenou přes internetovou síť. Služba, která potřebuje garantovanou přenosovou rychlost vyžaduje od sítě minimální

přenosovou rychlost zajištěnou v délce celé trasy přenosu [7].

2.2.2 Zpoždění a jitter

Zpoždění je rozděleno na několik druhů. První Serialization or Transmission Delay udává, jaký čas je potřeba, aby výstupní zařízení odeslalo paket v určité rychlosti. Tento parametr je velmi závislý na velikosti paketu a propustnosti linky. Další Propagation Delay je čas, který udává, jak dlouho vysílači trvá vyslat jeden bit a přijímači přijmout jeden bit a je závislý na propustnosti. Třetí Switching Delay udává čas, který trvá odeslání paketu po jeho přijetí. Je velice závislý na stavu linky a počtu paketů přecházejících přes tento skok. Výsledkem součtu všech těchto zpoždění na každém přeskoku je End-to-End Delay. Všechny pakety přenášené určitou cestou nemusí mít stejné zpoždění. Pokud je síť zahlcena může narůst End-to-End Delay. Rozdíl mezi zpožděním je nazýván jitter. Některé služby vyžadují ke svému fungování určitou hranici zpoždění a jitteru [7].

2.2.3 Ztrátovost paketů (packet loss)

Ztrátovost specifikuje číslo paketů, které se po cestě přes síť ztratily. Tato ztráta může být způsobena chybou na přenosovém médiu nebo zahozením paketu v určitém bodě sítě z důvodu nedostatku místa pro jeho uložení a následné přeposlání. Ztrátovost z důvodu zahození by měla být vzácná v dobře navržené síti [7].

3 MEŘÍCÍ METODA

3.1 RFC 3432

Původně byla metoda RFC 3432 vyvinuta pro testování parametrů QoS interaktivních aplikací jako je například hovor přes internetovou síť. Je založena na posílání přibližně stejně velkých paketů v určitém pravidelném intervalu simulující konstantní přenosovou rychlost [8].

3.1.1 Metodologie

Parametry potřebné ke konfiguraci jsou:

- T – Začátek intervalu, ve kterém lze začít s vysíláním paketů.
- dT – Délka intervalu T .
- T_0 – Čas zahájení generování, vysílání a záznamu paketů. Musí být vybrán náhodně z intervalu $[T, T+dT]$.
- T_f – Čas ukončení vysílání paketů, musí být větší než T_0 .
- $incT$ – Délka intervalu mezi jednotlivými pakety

Parametry ukládané na straně zdroje Src:

- $Tstamp(Src)[i]$ – Pro každý paket i je zaznamenán čas vysílání paketu.
- $PktID(Src)[i]$ – Unikátní identifikátor paketu i . Tento parametr lze vynechat.
- $PktSi(Src)[i]$ – Aktuální velikost paketu i . Tento parametr lze vynechat.

Parametry ukládané na straně příjemce Dst:

- $Tstamp(Dst)[i]$ – Čas příjmu paketu i .
- $PktID(Dst)[i]$ – Unikátní identifikátor paketu i .
- $PktSi(Dst)[i]$ – Velikost paketu i .
- $dTstop$ – Časový interval, který po přičtení k T_f určuje konec měření. Tento parametr lze vynechat.
- $PktStatus(Dst)[i]$ – Status přijatého paketu i . Jestli dorazil v pořádku nebo byl poškozen.

S použitím těchto parametrů lze vypočítat zpoždění jednotlivých paketů Delay v ms dle matematického vztahu 3.1:

$$Delay[i] = Tstamp(Src)[i] - Tstamp(Dst)[i] \quad (3.1)$$

Za určitých podmínek nelze vypočítat zpoždění, a to v případě, pokud byl paket ztracen, poškozen, nebo duplikován. Dále lze vypočítat průměrné zpoždění AvgDelay v ms dle vzorce 3.2:

$$AvgDelay = (1/N) \sum_{i=1}^N Delay[i] \quad (3.2)$$

Za předpokladu že N je počet všech správně doručených paketů. Poté lze vypočítat jitter IPDV v ms dle matematické definice 3.3:

$$IPDV[i] = Delay[i] - Delay[i - 1] \quad (3.3)$$

Jako poslední lze vypočítat rozsah jitteru RangeIPDV v ms, který je definován matematickou rovnicí 3.4:

$$RangeIPDV = \max(IPDV) - \min(IPDV) \quad (3.4)$$

3.1.2 Chyby a nepřesnosti

Chyby mohou být způsobené především rozdílným časem zdroje a příjemce. V případě, že čas není synchronizován s určitou přesností, lze očekávat nepřesnost výsledku způsobenou právě tímto rozdílem. Další chyba může být způsobena při nedodržení času incT, která může být zapříčiněna přetížením CPU nebo naplánováním jiného procesu v daném čase [8].

4 SERVEROVÝ PROGRAM

4.1 Úvod

Serverová část měřicího programu je napsána v objektově orientovaném programovacím jazyku Java. Program je vytvořen na základě doporučení RFC 3432 a je tedy navržen pro měření QoS parametrů v internetových sítích. Hlavním úkolem programu je vracet zpět pakety, které obdrží od klientského programu. Tímto způsobem lze simulovat oboustrannou multimediální komunikaci a zároveň je možné se vyhnout problémům s různou časovou synchronizací obou programů. I mírná odchylka v čase by mohla způsobit velkou chybu měření. Časy, ve kterých se běžně pohybuje zpoždění jsou řádově v ms. Synchronizace času, kterou by programy vyžadovaly, je velmi složitá na realizaci, a proto byl zvolen způsob tzv. „zrcadla“.

4.2 Struktura programu

Program je velmi jednoduchý a obsahuje dvě stěžejní části. První část, hlavní vlákno programu, které sleduje parametry přicházející z konzole, kterými lze program ovládat. V současné době je k dispozici pouze parametr exit, sloužící k ukončení programu. Druhou částí programu je samotné vlákno UDPTThread vykonávající příjem a následné odeslání paketů zpět k odesílateli. Tato komunikace se odehrává na portu 49558. Port byl zvolen z rozsahu 49152 – 65535 záměrně. Porty s těmito čísly jsou k dispozici pro dynamické a testovací účely, a to bez nutnosti jejich registrace. Dále server obsahuje třídu UDPTThreadTest, kde se nachází procedury pro otestování správného běhu UDPTThread, za využití frameworku JUnit. Také se zde nachází jednoduchá třída Log pro logování různých hlášení nebo chyb do souboru s názvem MultimediaTestServer.log. V poslední řadě třída LogTest sloužící pro otestování správné funkčnosti logu.

4.3 Možné vylepšení programu

V případě zatížení programu, například v době, kdy měření provádí více klientů ve stejný čas, může dojít ke zvyšování ztrátovosti. Měření tedy začne vykazovat určitou chybu v závislosti na zatížení. Tomuto lze částečně předejít zvýšením výkonu stroje, na kterém se server nachází. Další varianta je napsat tento program v nižším jazyku, jakým je C nebo C++. Tímto způsobem lze dosáhnout vyššího výkonu na stejném stroji.

5 UŽIVATELSKÝ PROGRAM

5.1 Úvod

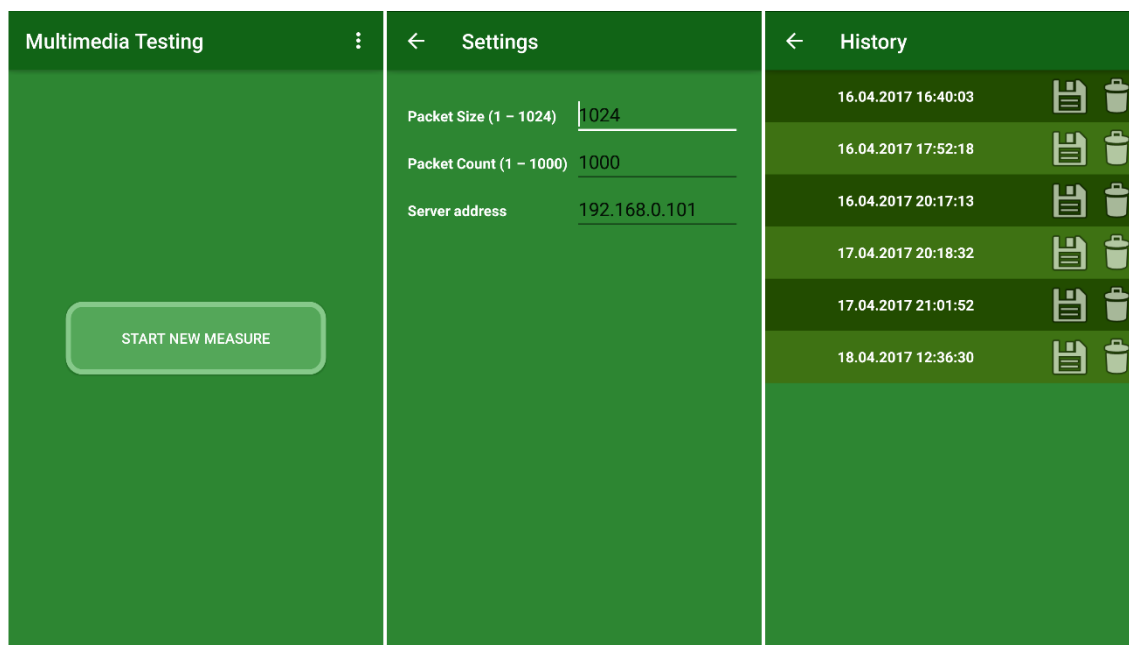
Program je vyvíjen pro platformu Android. Jako vývojové prostředí bylo zvoleno Android Studio, které je zdarma dostupné ke stažení [9].

Jméno aplikace je MultimediaTesting a nachází se v balíčku feec.vutbr.cz.multimediatesting. Minimální verze SDK (Software Development Kit) je API 14, které odpovídá verzi Android 4.0 Ice Cream Sandwich. Tuto nebo vyšší verzi operačního systému dle statistik k 2.5.2017 využívá více jak 99 % zařízení [10]. Aplikace obsahuje veřejnou knihovnu pro vykreslování grafů dostupnou zdarma ke stažení [11]. Pro testování a vývoj byl použit chytrý telefon Asus Zenfone 2 ZE551ML s verzí operačního systému Android 5.1 Lollipop. Viz obrázek 5.1 a obrázek 5.2.

5.2 Struktura uživatelského rozhraní

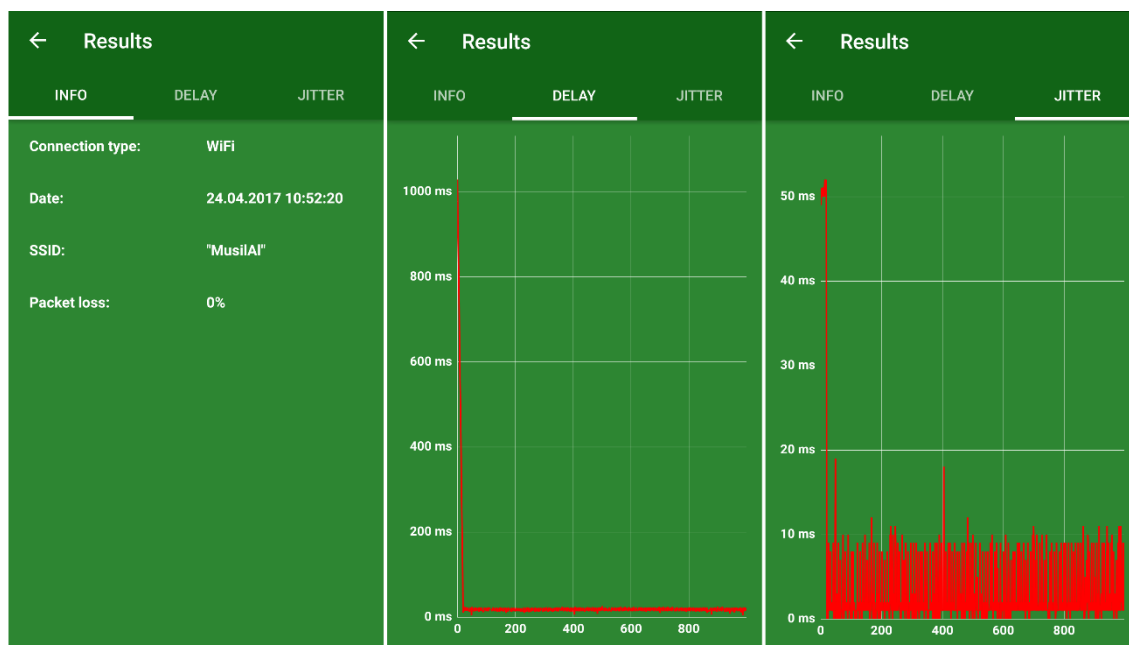
Program obsahuje několik obrazovek. První a zároveň úvodní obrazovka slouží ke spuštění testu. Nachází se zde pouze jedno tlačítko, které při stisku zahájí měření. O průběhu měření je uživatel informován za pomoci zobrazené informace a procentuálním počtu přijatých a odeslaných paketů. Pokud nastane chyba během měření, je uživatel informován, o jakou chybu se jedná. Proběhne-li měření v pořádku je výsledek měření uložen do databáze a uživateli je nabídnuta možnost projít si výsledky měření.

Druhá obrazovka obsahuje možnosti nastavení aplikace. Zde si uživatel může nastavit velikost odesílaného paketu, respektive velikost „užitečných dat“, které bude paket obsahovat. Tento parametr se pohybuje v rozsahu 1 až 1024 bytů. Dalším parametrem je nastavení počtu odeslaných paketů. To se pohybuje v rozmezí 1 až 1000. Pokud tedy uživatel u obou těchto parametrů nastaví maximální hodnotu dojde k odeslání přibližně 1 MB dat. S tímto je třeba počítat, pokud uživatel používá placený mobilní tarif. Posledním parametrem je adresa serveru, na který mají být pakety odesílány. Tato adresa může být ve formě IP (Internet Protocol) adresy nebo doménové adresy. Všechny změny se okamžitě promítnou do hlavního nastavení bez potřeby dodatečného potvrzení.



Obr. 5.1: Uživatelské rozhraní

Třetí obrazovkou je historie měření. Jak již bylo zmíněno, každé měření je uloženo pro potřeby zpětného zobrazení. Při vstupu na tuto obrazovku se uživateli vypíší všechny měření, které doposud provedl. Každé měření je uloženo pod datem a časem. Při rozkliknutí určitého měření se ukáží naměřené výsledky. Dále je možnost měření vymazat pomocí ikony koše, pokud uživatel potvrdí svoji volbu dojde k trvalému odstranění měření bez možnosti jakékoliv obnovy. A v poslední řadě je možné měření vyexportovat kliknutím na ikonu diskety. Vyexportované měření je ve formátu CSV (Comma-separated values) a ukládá se na externí uložisti mobilního zařízení, což umožní uživateli pracovat s naměřenými daty nejen v rámci aplikace, ale také v rámci jiného tabulkového procesoru. Je tak možné zobrazovat různé grafy, nebo si vybrat určité hodnoty k zobrazení, a to hlavně v případě, potřebujeme-li zobrazit určitou část dat, nebo pokud je vyžadováno, aby data byla zpracována někým jiným, než byla naměřena.

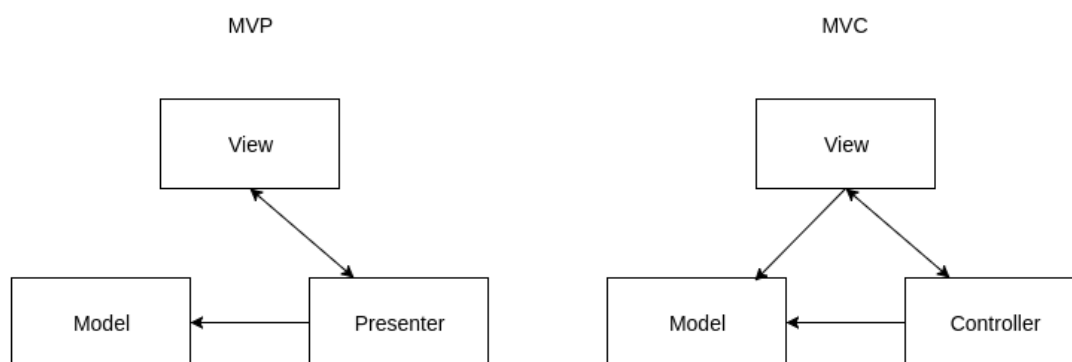


Obr. 5.2: Zobrazení výsledků

Čtvrtá obrazovka slouží pro zobrazení výsledků a skrývá v sobě tři části. První část obsahuje obecné informace o měření. Datum a čas, ztrátovost, typ připojení (mobilní nebo Wi-Fi), SSID, operátora a technologii. Poslední tři zmíněné jsou zobrazovány v závislosti na typu připojení. Druhá část zobrazuje graf naměřeného zpoždění a ve třetí části se nachází graf naměřených rozdílů zpoždění (jitteru). Oba tyto grafy jsou interaktivní a lze je přibližovat nebo oddalovat pro větší detail různých hodnot. Mezi těmito částmi lze přepínat pomocí horního menu, nebo pomocí prstových gest doleva a doprava.

5.3 Návrhový vzor

Jako návrhový vzor je použit MVP (Model View Presenter), který je velmi podobný se vzorem MVC (Model View Controller). Rozdíl mezi těmito vzory je pouze ve způsobu komunikace mezi jednotlivými prvky. Viz obrázek 5.3.



Obr. 5.3: Návrhové vzory

Jednotlivé prvky návrhového vzoru MVC jsou:

- View – zobrazení a interakce s uživatelem
- Model – přijímá a částečně zpracovává data
- Controller – přijímá informace o interakcích

Důvod využití návrhové vzoru MVP je především pro oddělení různých částí aplikace, které jsou zodpovědné za různé funkce. To vede k lepší údržbě a také testovatelnosti. U operačního systému Android lze tímto způsobem také dosáhnout určitého oddělení kódu závislého na platformě a kódu nezávislého. Z toho plyne další výhoda, a to je použitelnost nezávislého kódu v naprosto jiné aplikaci, která ovšem vykonává stejnou funkci.

MVP se skládá ze tří důležitých částí. První je View neboli část, která se stará o zobrazení a interakci s uživatelem. View musí udržovat odkaz na svůj Presenter, ten slouží jako prostředník mezi Modelem a View, přijímá informace o interakcích, které uživatel provedl a na základě těchto informací rozhoduje jaká akce nastane. Model je

prvek, který má za úkol obstarat a částečně zpracovat data, které předá Presenteru a ten rozhodne jakým způsobem budou zobrazeny ve View. Zásadní rozdíl mezi MVP a MVC tedy spočívá v tom, že v MVP View neví vůbec nic o Modelu a nemá na něj žádnou návaznost, zatímco v MVC může Model posílat data přímo do View [12].

Z tohoto popisu je patrné, že Presenter a většina Modelů bude platformě nezávislá. Pokud existuje určitá závislost v Modelu je předána pomocí View takovým způsobem, aby nebyla ovlivněna závislost daného Presenteru. Tento případ se v aplikaci vyskytuje několikrát.

5.4 Logika aplikace

Aplikace je díky operačnímu systému Android rozdělena do dvou větších celků. V prvním celku, který se nachází ve složce `app/src/main/res`, jsou zahrnuty grafické prvky aplikace. Tato složka obsahuje několik dalších podsložek. Některé slouží jako místo pro obrázky. Avšak pro aplikaci je mnohem důležitější složka `layout` obsahující XML (eXtensible Markup Language) soubory, které definují, jak bude určitá část aplikace vypadat. Ve většině případů je jeden XML soubor pro jednu obrazovku. Specifická struktura umožňuje nastavení jednotlivých zobrazovaných prvků dle představ programátora. Za pomoci Android Studia je také možné se na vzhled podívat, ještě dříve než na vlastním zařízení. Také lze přímo v tomto grafickém zobrazení upravovat jednotlivé prvky. Textová podoba umožňuje vkládat jednotlivé prvky a jejich atributy „ručně“.

Druhý celek uchovaný ve složce `app/src/main/java/feec/vutbr/cz/multimediasensing` obsahuje balíčky označující logické celky aplikace a ty jsou rozděleny především podle návrhového vzoru. V případě, že daný prvek svojí funkcí vybočuje z návrhového vzoru obsahuje svůj vlastní balíček. Jednotlivé balíčky obsahují zdrojové kódy aplikace.

5.4.1 Balíčky

Prvním balíčkem jsou Adaptéry, které slouží pro implementaci bloků jako je například zobrazení seznamu. Jejich úkolem je v závislosti na pozici v seznamu vybrat správný prvek a následně přiřadit správné zobrazované hodnoty. Dalším případem je adaptér pro obrazovku s výsledky, který má za úkol na základě pozice zobrazit uživateli správnou část (informace nebo grafy).

Druhý balíček nese název Contract. Jak již název napovídá, jedná se o domluvu rozhraní mezi jednotlivými prvky návrhové vzoru. Tyto třídy jsou velmi důležité, jelikož jejich následná implementace určuje, jakým způsobem mezi sebou budou jednotlivé části

komunikovat. Jak již bylo zmíněno v návrhovém vzoru, jednotlivé části by mělo být možné libovolně zaměnit za jiné, za předpokladu, že bude poskytovat funkce specifikované právě daným kontraktem. Každý logický MVP celek má svůj vlastní kontrakt.

Třetím balíčkem jsou pouze určena rozhraní pro vytváření Presenteru pomocí Loaderu, který má na starosti přechování jedné instance napříč změnami v samotné aplikaci. Čtvrtým balíčkem jsou určeny funkce pro Listenery, které naslouchají různým změnám v případě použití asynchronních událostí. V pátém balíčku je samotný Loader.

Poslední tři balíčky obsahují jednotlivé prvky návrhového vzoru. V této části kódu se odehrává největší část aplikační logiky.

5.4.2 Tvorba paketů

Samotná tvorba paketů probíhá dynamicky po začátku měření v třídě MeasuredPackets. Na základě nastavených parametrů se po určitém časovém intervalu, v tomto případě je to 50 ms, vytvoří nový paket, který je naplněn náhodnými daty o nastavené velikosti. Před tyto data je vloženo sekvenční číslo udávající pořadí paketu. Sekvenční číslo slouží ke správnému seřazení paketů, v případě že dojdou v nesprávném pořadí. K paketu je dále přiloženo časové razítko s dobou odeslání. Takto vytvořený paket je uložen do pole k pozdějšímu zpracování a odeslán.

5.4.3 Síťová komunikace

Síťová komunikace probíhá ve třídě SocketThread. Po nastavení základních parametrů komunikace je spuštěno vlákno, které čeká na příchozí pakety. Pokud paket dorazí zpět ze serveru je uložen k pozdějšímu zpracování společně s dobou jeho přijetí. Tato třída také poskytuje funkci, která odesílá vygenerované pakety. Pokud dojde k odeslání všech vygenerovaných paketů je tato třída informovaná a počká ještě 2,5 s na všechny opožděné pakety a poté uzavře komunikaci. Tuto komunikaci lze přerušit také dříve. Děje se tak v případě, pokud dojde k chybě v přenosu. Dále je komunikace ukončena dříve pokud uživatel zavře aplikaci. Je to z důvodu, aby nedocházelo k problémům s pamětí, která je blokována tímto vláknem.

5.4.4 Ukládání a zpracování výsledků

Poté, co je komunikace řádně ukončena, je uživatel informován o konečném ukládání a zpracování naměřených hodnot. Obojí probíhá ve třídě Database. Jedná se SQLite databázi, ve které jsou vytvořeny dvě tabulky. První, s názvem measure, v sobě uchovává základní informace o daném měření. Druhá, tabulka s názvem packets, obsahuje záznamy

o každém odeslaném paketu, konkrétně je uloženo jeho sekvenční číslo, čas odeslání i příjmu (pokud nebyl přijat je čas příjmu 0) a zpoždění paketu, které je počítáno z rozdílu čas příjmu–čas odeslání. Pokud paket nedorazí a ztratí se po cestě je jeho zpoždění uvedeno jako 0. V případě, že uživatel vybere zobrazení výsledků jsou tyto hodnoty načteny z databáze a zobrazeny. Jitter je počítán při načítání výsledků, a to z důvodu zjednodušení.

5.4.5 Export do souboru

Export do souboru probíhá ve třídě FileWriter. Tato třída obsahuje pomocné vlákno, ve kterém probíhá čtení z databáze a následný zápis do souboru. Jiné, než hlavní vlákno je použito z důvodu dlouhého zápisu dat. Pokud by byl zápis příliš dlouhý, přibližně více jako 1 s uživateli by se mohlo zdát, že aplikace tzv. „zamrzla“. Z uživatelského hlediska tato možnost působí mnohem lepším dojmem. Samotné formátování do CSV formátu je prováděno už ve třídě Database při čtení dat. Soubory jsou ukládány na externí uložení do složky MultimediaTesting.

5.4.6 Možné vylepšení aplikace

Při detailnějším testování aplikace se objevilo několik případů, které by stáli za úvahu a případné vylepšení. Jedná se především o generování dat, která jsou následně posílána. Při interním měření bylo naměřeno, že přibližné zpoždění od doby, kdy je časovačem zavolána funkce pro odeslání dat po samotné odeslání je přibližně 1 - 2 ms. Tento čas může výrazně ovlivnit měření v sítích, které mají velmi nízkou odezvu. Z tohoto důvodu také nelze použít nastavitelnou hodnotu časovače pro odesílání. Pokud by byl časovač v řádech jednotek ms, mohlo by v krajních případech docházet k navýšení doby až dvojnásobně. To by způsobilo, že další požadavek by mohl být vykonán až poté, co by byl předchozí odeslán. Možným řešením tohoto problému by mohlo být použití generování paketů s předstihem. Například by se před měřením vygenerovali všechny pakety a poté by probíhalo pouze jejich čtení z paměti.

Další problém, který se při interním měření vyskytl, je nedostatečná rychlost odesílání paketů do sítě a jejich následný příjem. To také velmi úzce souvisí s hodnotou časovače pro generování dat. Při použití nízké hodnoty docházelo ke ztrátám paketů. Je to podobný problém jako u serverového programu. Avšak v mobilní aplikaci je řešení tohoto problému mnohem složitější než u serverových programů. Je to především z důvodu menší dostupnosti nástrojů. Operační systém Android nabízí NDK (Native Development Kit). Tento balíček umožňuje použít v aplikaci kód psaný v C nebo C++ za pomoci JNI (Java Native Interface). Problém nastává ve vývoji takové aplikace. Nejen, že aplikace se stane mnohem složitější na údržbu, ale také testování je velmi náročné,

jelikož každá procesorová architektura má trochu jiný nativní kód. Ke správnému otestování by tedy bylo nutné mít k dispozici nejlépe všechny procesorové architektury, na kterých by aplikace měla běžet.

Další vylepšení, která by nabízela spíše uživatelské pohodlí. By mohla být možnost uložení exportovaných souborů do více formátů. I když je CSV velmi univerzální formát, bylo by možné přidat i XML nebo JSON (JavaScript Object Notation). Další možnost je úvaha nad měřením podle jiného standardu než RFC 3432, případně uživatelský výběr mezi dostupnými standardy. Pro měření kvality se nabízí standard ITU-T Y.1564, který je velmi obsáhlý, ale bohužel placený. Lze také uvažovat o překladu aplikace do více cizích jazyků. V současné době aplikace podporuje pouze Český a Anglický jazyk.

V poslední řadě by bylo vhodné přidat možnost zvolit priority provozu vkládáním hodnot do TOS (Type of service) v IP hlavičce. Všechny pakety jsou nyní posílány se základní hodnotou, nezaručená služba BE. Změnou této hodnoty lze dosáhnout i změny chování sítě vůči měřicím paketům. Tímto způsobem lze lépe simulovat různé druhy multimediálního provozu. Tento parametr funguje pouze za předpokladu, že jej síť podporuje a výsledek realizace je velmi závislý na SLA smluvené s poskytovatelem datových služeb. Programovací jazyk java podporuje kromě BE ještě čtyři další typy označení provozu, které lze využít na základě doporučení RFC 1349 [13].

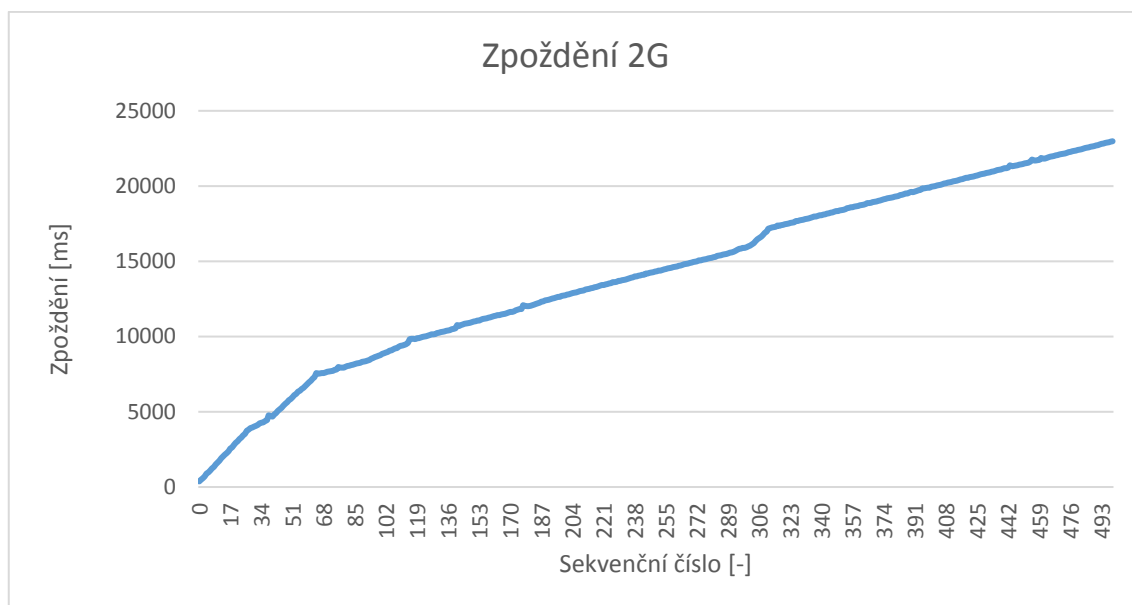
6 NAMĚŘENÉ HODNOTY

6.1 Úvod

Z testovacího měření jsou patrné rozdíly mezi datovými přenosy v jednotlivých generacích mobilních sítí. Všechna měření byla provedena v komerční síti T-Mobile. Velikost paketu byla nastavena na 1024 bytů. Tato velikost je poměrně velká pro reálný přenos. Avšak čím větší je velikost dat přenášená v jednom paketu, tím menší jsou data potřebná k režii. Tímto způsobem lze částečně šetřit síťové prostředky. Problém nastává, pokud v síti existuje nějaké úzké hrdlo, které způsobí fragmentaci na menší části. Serverový program běžel na stanici připojené pomocí technologie Wi-fi k poskytovateli, který má přístupové body napojené optickým kabelem. Z tohoto důvodu také vzniká určitá chyba měření, která je přidána právě Wi-fi připojením. Chytrý telefon, na kterém byl spuštěn měřicí program se nacházel vedle stanice se serverovým programem. Dále je potřeba také připomenout, že program měří zpoždění cestou tam i zpět jako jeden údaj. Pro jednosměrný datový tok je zpoždění teoreticky poloviční, pokud zanedbáme možný vliv směřování na výběr jiné cesty, nebo možnost zahlcení dané cesty. Cílem tohoto měření bylo nejen ověřit funkčnost aplikací, ale zároveň také simulovat možné reálné spojení dvou zařízení (VoIP nebo videohovor). Všechny hodnoty byli naměřeny kolem sedmé hodiny večerní. To je doba, ve kterou je poměrně velký datový provoz ve všech sítích.

6.2 Vyhodnocení

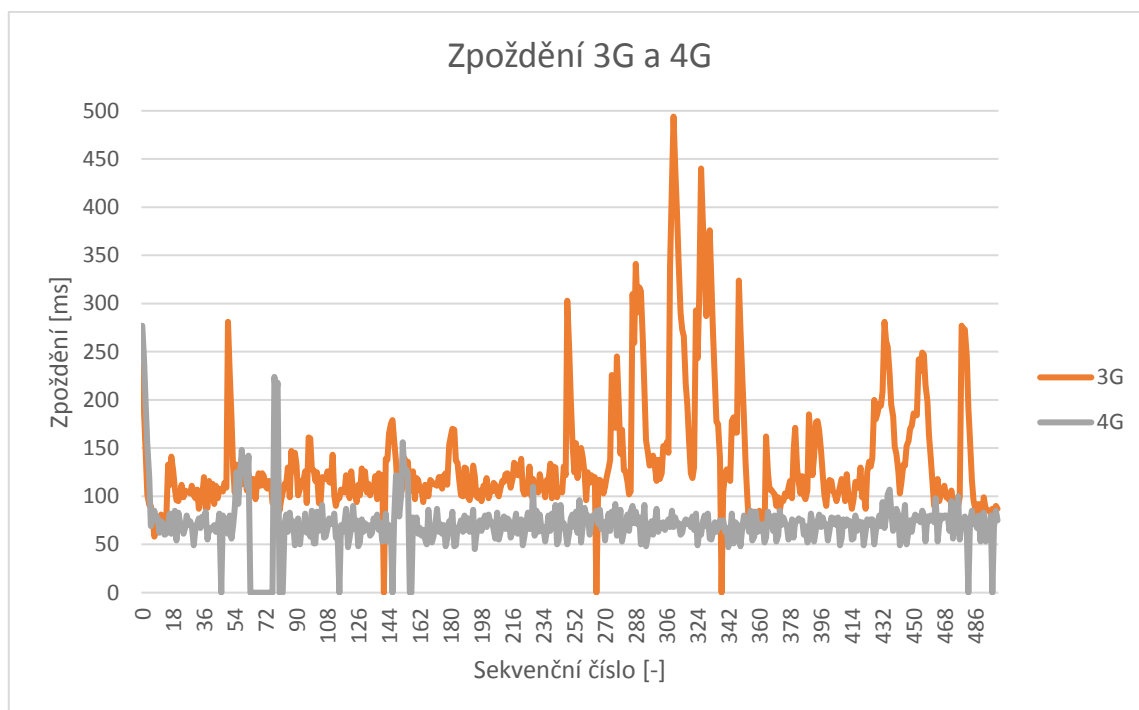
V síti druhé generace zpoždění roste téměř logaritmicky. Jak lze pozorovat v grafu na obrázku 6.1. Jitter se v této síti pohybuje většinu času v nízkých hodnotách viz obrázek A.1. Naměřená ztrátovost byla 0 %. Je tedy patrné, že datové přenosy v sítích druhých generací nejsou moc vhodné pro realizaci multimediálních přenosů.



Obr. 6.1: Naměřené hodnoty zpoždění pro 2G

Sítě třetí generace jsou lépe uzpůsobeny k multimediálním přenosům. Naměřené hodnoty zpoždění se převážně pohybovali v hodnotách do 150 ms. V některých místech jsou vidět špičky dosahující zpoždění až 500 ms, které by mohli způsobit mírnou degradaci kvality služby případně výpadky. Viz obrázek 6.2. Jitter se v této síti pohyboval v poměrně příznivých hodnotách viz obrázek A.2. Naměřená ztrátovost dosahovala pouhé 1 %.

U naměřených parametrů sítí čtvrté generace je ihned patrné, že se jedná o čistě paketové síť. Zpoždění jen velmi výjimečně překračuje hranici 100 ms. Ztrátovost je sice 5 %, ale to je s největší pravděpodobností způsobeno vytížením v době měření. Jitter téměř nepřesáhl hodnotu 50 ms viz obrázek A.3. Je také třeba zvážit fakt, že provoz, který aplikace měří není standardní a není do něj vkládána žádná informace o prioritě provozu. Zpoždění je zobrazeno na obrázku 6.2.



Obr. 6.2: Naměřené hodnoty zpoždění pro 3G a 4G

Jednotlivě naměřené hodnoty se nachází na přiloženém CD v souboru vzorky.xlsx. Tento soubor obsahuje všechny tři měřené generace a také poslední záložku s výslednými grafy, ve kterých se mimo jiné nachází i graf s naměřenými hodnotami jitteru.

ZÁVĚR

První technologií, která byla zaměřená pouze na paketové služby byla GPRS spolu s vylepšením EDGE. Tato technologie využívá prostředků stávajících sítí druhé generace. Bohužel není vhodná pro multimediální přenosy dat, a to především z důvodu velkých zpoždění, které vznikají při datových přenosech s těchto sítích. S příchodem třetí generace mobilních sítí došlo i k velkým změnám v datových přenosech. Sít' třetí generace je stále velmi podobná sítím druhé generace, avšak s několika hlavními změnami, které umožnili dosáhnout větších přenosových rychlostí, ale především menšího zpoždění. Čtvrtá generace mobilních sítí přináší naprosto jiný přístup. Sít' je ryze paketová. Tato změna způsobila, že sít' čtvrté generace není zpětně kompatibilní se sítěmi předchozích generací, avšak je plně uzpůsobena k přenosu velkého objemu dat s malým zpožděním a ztrátovostí.

Metoda sloužící k měření parametrů přenosu multimediálních dat je navržena pomocí doporučení RFC 3432. Jedná se o návrh metody pro měření periodických datových proudů o konstantní přenosové rychlosti za pomoci přenosu stejně velkých paketů ve stejných časových úsecích.

V praktické části práce jsou popsány dva programy pro měření parametrů obecně paketových sítí. První z nich, serverový program, je velmi jednoduchý a slouží pouze k vrácení přijatých paketů zpět k příjemci. Tento způsob byl zvolen v důvodu jednoduchosti. Druhý program, přesněji řečeno aplikace pro operační systém Android, obsahuje všechny části, které generují a poté vyhodnocují daný datový provoz. Aplikace má velmi intuitivní ovládáním. Všechna změřená data je možné znovu zobrazit díky ukládání do historie. Dále je možné nastavit dva základní parametry, které ovlivní měření. V poslední řadě lze naměřené výsledky vyexportovat pro pozdější zpracování ve formátu CSV. V kapitolách o obou aplikacích jsou návrhy na možná vylepšení, která by umožnila větší rozsah měření, případně přesnější výsledky.

Poslední částí jsou naměřené testovací výsledky a jejich popis. Měření probíhalo za podmínek, které se blížili reálným podmínkám.

LITERATURA

- [1] WESOŁOWSKI, Krzysztof. *Mobile communication systems*. Chichester: John Wiley, 2001, xvi, 449 s. : il. ISBN 0471498378.
- [2] COX, Christopher. *Essentials of UMTS*. New York: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-052-1889-315.
- [3] Jak funguje řízení datových toků s QoS. *Connect* [online]. 2012 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://connect.zive.cz/clanky/jak-funguje-rizeni-datovych-toku-s-qos/sc-320-a-161738>
- [4] Quality of Service (QoS) in LTE. *Simpletechpost* [online]. 2013 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.simpletechpost.com/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.html>
- [5] COX, Christopher. *An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications*. Second edition. West Sussex, England: John Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-81802-2.
- [6] BOCCARDI, Federico, Robert W. HEATH, Angel LOZANO, Thomas L. MARZETTA a Petar POPOVSKI. Five disruptive technology directions for 5G. *Communications Magazine, IEEE* [online]. USA: IEEE, 1402, **52**(2), 74-80 [cit. 2016-11-23]. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736746. ISSN 01636804. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/document/6736746/>
- [7] ASH, Gerald R. *Network quality of service: know it all*. San Francisco : Amsterdam: Morgan Kaufmann ; Elsevier, 2009, xix, 330 s. : il. ISBN 9780123745972.
- [8] Network performance measurement with periodic streams: RFC 3432. *The Internet Engineering Task Force* [online]. Fremont, 2002 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3432.txt>
- [9] Android Studio. *Android Studio* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://developer.android.com/studio/index.html>
- [10] Dashboard. *Android Developers* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://developer.android.com/about/dashboards/index.html>
- [11] MPAndroidChart. *GitHub* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>
- [12] MVP for Android: how to organize the presentation layer. *Antoniroleiva.com* [online]. 2014 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://antoniroleiva.com/mvp-android/>
- [13] *DatagramSocket* [online]. 2011 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/net/DatagramSocket.html>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AF	Assured Forwarding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AS	Application Server
AUC	Authentication Center
BE	Best Effort
BSS	Base Station System
BTS	Base Transceiver Station
CAMEL	Customised Applications for Mobile Network Enhanced Logic
CN	Core Network
CRNC	Controlling RNC
CS	Circuit switched
CSCF	Call Session Control Functions
CSV	Comma-separated values
DiffServ	Differentiated Services
DRNC	Drift RNC
EDGE	Enhanced Data Rate for Global Evolution
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel
EF	Expedited Forwarding
EIR	Equipment Identification Register
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FSK	Frequency-shift keying
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GMSK	Gaussian minimum-shift keying
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global System for Mobile Communication

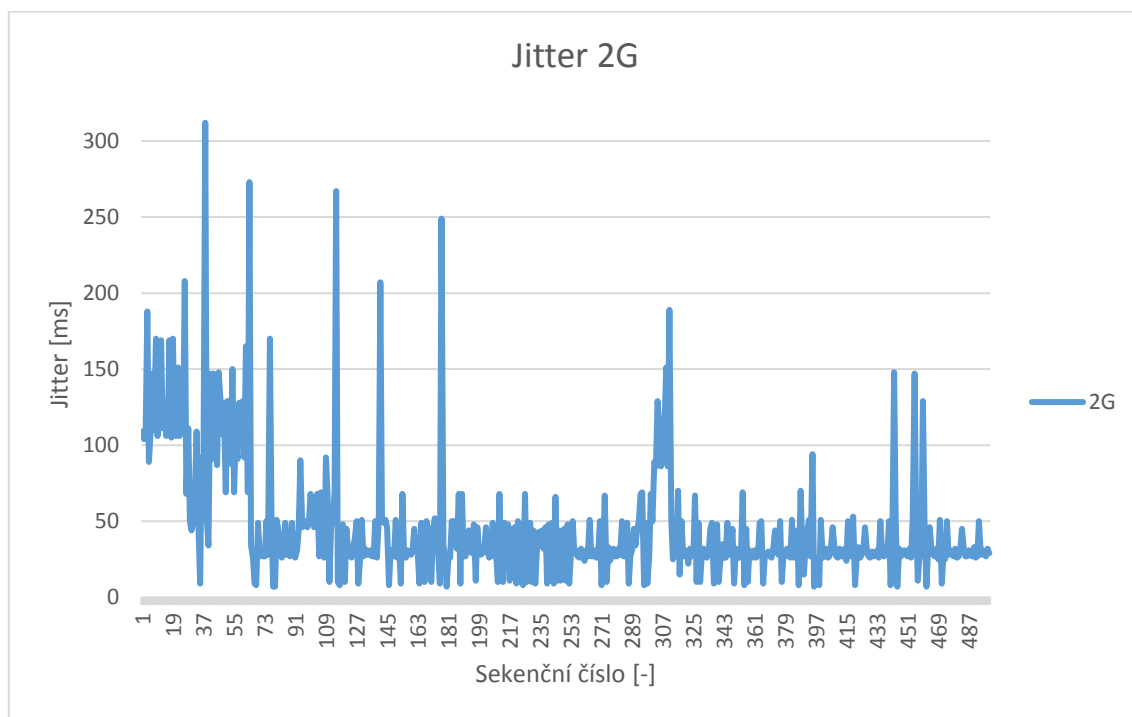
GSN	GPRS Support Nodes
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
hybrid ARQ	Hybrid Automatic Repeat Request With Soft Combining
I-CSCF	Interrogating CSCF
IMS	IP Multimedia Subsystem
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
IP-CAN	IP Connectivity Access Network
JNI	Java Native Interface
JSON	JavaScript Object Notation
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
MSK	Minimum-shift keying
MVC	Model View Controller
MVP	Model View Presenter
NAT	Network Address Translation
NDK	Native Development Kit
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open System Interconnection
OTDOA	Observed Time Difference of Arrival
PCSCF	Proxy CSCF
P-GW	Packet Data Network Gateway
PS	Packet Switched

PSTN	Public Switched Telephone Networks
QAM	Quadrature amplitude modulation
QCI	QoS Class Identifier
QoS	Quality of Service
RNC	Radio Network Controller
SAE	System Architecture Evolution
S-CSCF	Serving CSCF
SDK	Software Development Kit
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SLA	Service Level Agreement
SMS	Short Messages Service
SRNC	Serving RNC
TACS	Total Access Communication System
TOS	Type of service
UDI	Unrestricted Digital Information
UMTS	Univeral Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor's Location Register
VoIP	Voice over IP
VoLTE	Voice over LTE
W CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language

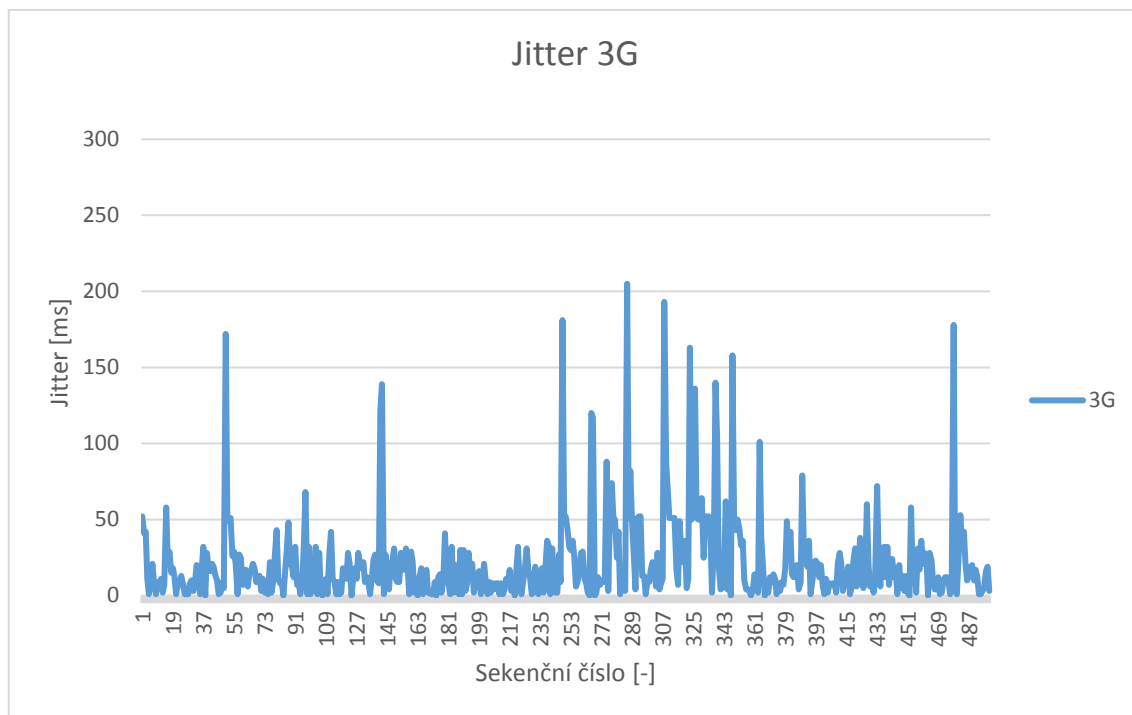
SEZNAM PŘÍLOH

A	Grafy naměřených hodnot	36
B	Obsah přiloženého CD	38

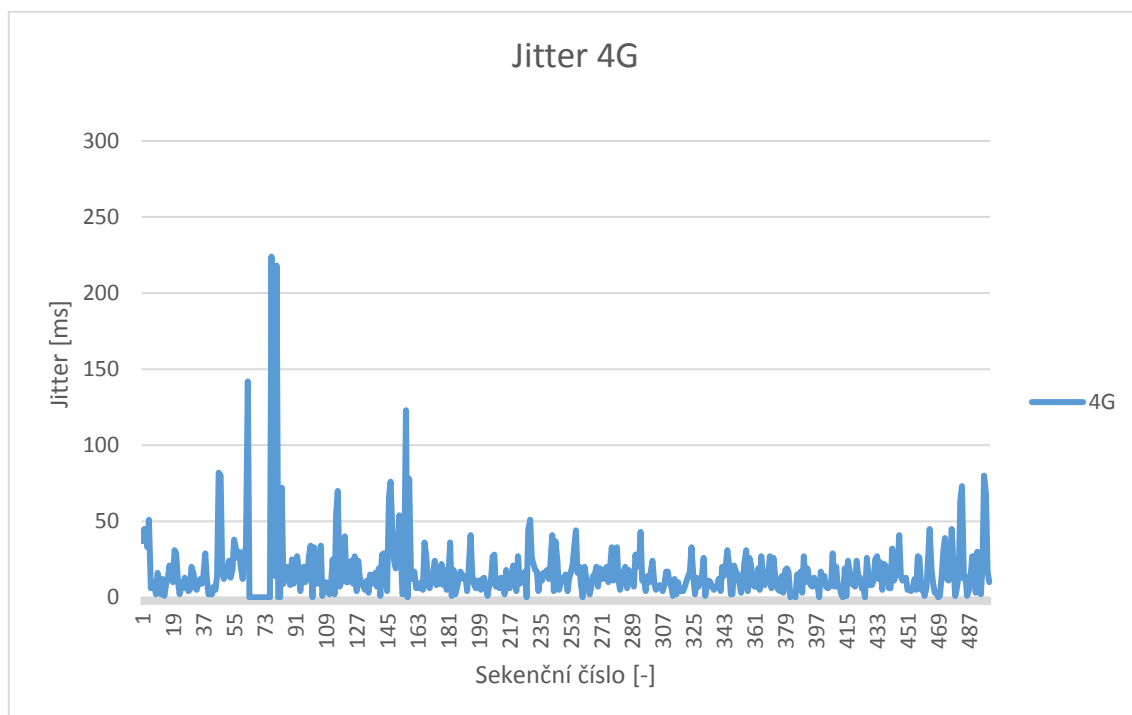
A GRAFY NAMĚŘENÝCH HODNOT



Obr. A.1: Naměřené hodnoty jitteru pro 2G



Obr. A.2: Naměřené hodnoty jitteru pro 3G



Obr. A.3: Naměřené hodnoty jitteru pro 4G

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

- adresář *MultimediaTestServer* obsahuje projekt serverového programu
 - podadresář *src* obsahuje zdrojové kódy programu
- adresář *MultimediaTesting* obsahuje projekt aplikace pro operační systém Android
 - zdrojové kódy se nachází v podsložkách *app/src/main/java*
- adresář *vzorky* obsahuje jednotlivé naměřené vzorky
 - jednotlivé soubory s příponou *csv* jsou přímo vyexportované z mobilní aplikace
 - soubor *vzorky.xlsx* obsahuje záložky s jednotlivými měřeními a jejich vynesáním do grafů
- soubor *BP_musil.pdf* obsahuje bakalářskou práci